

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号  
特表2002-501687  
(P2002-501687A)

(43) 公表日 平成14年1月15日 (2002.1.15)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード <sup>*</sup> (参考)
H 0 4 N 7/30		H 0 3 M 7/30	Z
H 0 3 M 7/30		H 0 4 N 7/133	Z

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 38 頁)

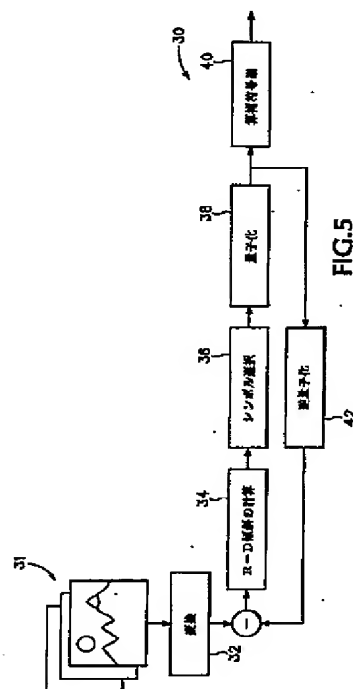
(21) 出願番号 特願平10-533181  
(86) (22) 出願日 平成10年1月30日 (1998.1.30)  
(85) 翻訳文提出日 平成11年7月27日 (1999.7.27)  
(86) 国際出願番号 PCT/US98/01981  
(87) 国際公開番号 WO98/34398  
(87) 国際公開日 平成10年8月6日 (1998.8.6)  
(31) 優先権主張番号 60/035, 126  
(32) 優先日 平成9年2月3日 (1997.2.3)  
(33) 優先権主張国 米国 (US)  
(81) 指定国 EP (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), CN, JP, KR, SG

(71) 出願人 シャープ株式会社  
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号  
(72) 発明者 リー, ジン  
アメリカ合衆国, ワシントン 98693, パンクーバー, #R197, 900 エス イー パーク クレスト アヴェニュー  
(72) 発明者 レイ, シャウーミン  
アメリカ合衆国, ワシントン 98607 カマス, 4522 エヌダヴリュー パレー ス トリート  
(74) 代理人 弁理士 安田 啓之 (外2名)

(54) 【発明の名称】 レート歪みを最適化した埋め込み画像符号器

#### (57) 【要約】

レート歪みを最適化した埋め込み (RDE) 符号器は、R-D傾斜の順で、符号化情報ビットによりレート歪み性能を最適化する。最大R-D傾斜の情報ビットに、先ず最初に、使用可能な符号化ビットを割り当てるが、これは、符号化ビット当たりの歪み減少が最大となることを示している。その結果としてRDEビットストリームは、どの点でも切り捨てることができるばかりでなく、最適R-D性能をも維持できる。符号化順序送信のオーバーヘッドを避けるためには、期待R-D傾斜が、前のRDE符号化ビットから符号器および復号器の双方で計算される。QM算術符号器からの確率評価テーブルにより、R-D傾斜は索引テーブル演算を用いて導出することができる。RDEレート歪み最適化符号器により、広い範囲のビットレートにわたって、符号化を極めて効率的に改善することができる。



## 【特許請求の範囲】

1. 画像の埋め込み符号化のレート－歪み最適化方法において、  
画像をデジタル化するステップと、  
1つのセットの係数を形成するように画像を変換するステップと、  
1つのセットのシンボルを形成するように係数を量子化するステップと、  
前記シンボルの送信コストと該シンボルの情報内容との比を表す各シンボルに  
対する歪み減少値を計算するステップと、  
歪み減少値の降順で前記シンボルを符号化するステップとを有することを特徴  
とするレート－歪み最適化方法。
2. 画像の埋め込み符号化のレート－歪み最適化方法において、  
画像をデジタル化するステップと、  
それぞれが多重ビットを含む係数のセットを形成するために画像を変換するス  
テップと、  
各係数からの最上位の未符号化ビットを含む一群の候補ビットを個々のビット  
が符号化される前に繰返して分析するステップと、  
ビット送信コストと該ビットの情報の内容との比を表す候補ビット中のビット  
に対する歪み減少値を決定するステップと、  
エントロピー符号器で前記候補ビット中の選択されたビットを符号化するステ  
ップと、  
前記候補ビットの符号化ビットを、次に有効な前記係数の未符号化ビットで置  
換するステップとを有することを特徴とするレート－歪み最適化方法。
3. 前記選択されたビットを符号化するステップは、費やされた符号化ビット当  
たりの最大歪み減少値を有する前記候補ビット中の1つのビットを符号化するス  
テップを含むことを特徴とする請求項2に記載のレート－歪み最適化方法。
4. しきい値を設定するステップと、  
  
しきい値より大きいレート－歪み傾斜値を有する候補ビット中のビットを符号  
化するステップと、  
前記しきい値を減少させるステップと、

各係数中の最上位の未符号化ビットを含むように候補ビットを再配置するステップとをさらに有することを特徴とする請求項2に記載のレート歪み最適化方法。

5. 前記各ビットに対する歪み減少値は、予測レート歪み傾斜から導出されることを特徴とする請求項2に記載のレート歪み最適化方法。

6. 前記予測レート歪み傾斜は、各ビットの符号化層、係数内の前のビットが全てゼロであるかどうかを示す係数の有効状態および周囲の係数の有効状態に従って生成されることを特徴とする請求項5に記載のレート歪み最適化方法。

7. 前記予測レート歪み傾斜は、各ビット用に、有効性認定モードまたは精錬モードに従って導出されていることを特徴とする請求項5に記載のレート歪み最適化方法。

8. 前記有効性認定モードは、第1のバイナリ1値までの全ビットとして定義される係数のビットの全有効ビットを符号化し、前記精錬モードは、第1のバイナリ1値の後の全ビットとして定義される全精錬ビットを符号化することを特徴とする請求項7に記載のレート歪み最適化方法。

9. 前記有効性認定モードは、同一および隣接する係数の有効状態によってビットが有効である確率を評価するQM符号器を使用することを特徴とする請求項7に記載のレート歪み最適化方法。

10. 前記レート歪み傾斜は、有効ビット用に、次式で導かれることを特徴とする請求項8に記載のレート歪み最適化方法。

$$\lambda_{i,\text{sig}} = \frac{E[\Delta D_i]}{E[\Delta R_i]} \frac{2.25 T_{n_i}^2}{1 + H(p_i)/p_i} = f_s(p_i) T_{n_i}^2 \quad (20)$$

ここで、関数  $f_s(p)$  は、有効 R-D 傾斜修正因子で以下のように定義される：

$$f_s(p) = \frac{2.25}{1 + \frac{H(p)}{p}} \quad (21)$$

$T_{n_i}$  は、符号化層  $n_i$  で決定される量子化ステップサイズで、 $p_i$  は、候補ビット

$b_{ni}$  = 1有効性の確率で、 $H(p)$ がバイナリシンボルのエントロピーである。

1 1. 前記レート歪み傾斜は、精錬ビット用に、次式で導かれることを特徴とする請求項8に記載のレート歪み最適化方法。

$$\lambda_{i,ref} \frac{E[\Delta D_i]}{E[\Delta R_i]} = 0.25 T_{ni}^2 \quad (27)$$

ここで、 $T_{ni}$  は、符号化層  $n_i$  で決定される量子化ステップサイズである。

1 2. 前記レート歪み傾斜は、有効ビットおよび精錬ビット用に、ラプラス確率分散に従って導かれることを特徴とする請求項8に記載のレート歪み最適化方法。

1 3. 有効ビット符号化および精錬ビット符号化用に、レート歪み傾斜値を有するテーブルを事前に計算し、記録するステップと、

有効性認定モード中の最大ビットが1または0である有効性または非有効性の確立に対応して符号化層および符号器状態に一致して前記レート歪み傾斜値を索引するステップとをさらに有することを特徴とする請求項7に記載のレート歪み最適化方法。

1 4. デジタル化画像のレート歪み符号化を最適化する埋め込み符号器において、

それぞれが多重ビットを含む係数のセットを形成するデジタル化画像を符号化する変換器と、

各係数からの最上位未符号ビットを含む該各係数に対し候補ビットを繰り返して分析し、ビット送信のコスト当たりのビット内情報内容の比を表す個々のビット用に個々の歪み減少値を決定するレート歪み傾斜計算器と、

関連する歪み減少値に従って、ビットを符号化する順番を選択するシンボル選択器とを有することを特徴とするレート歪み最適化埋め込み符号器。

1 5. 請求項14に記載のシステムにおいて、係数中の前に符号化されたビットの全てがゼロの時有効性認定モードで動作し、かつ、第1のゼロでないビットが有効性認定モードで係数中で認定された後精錬モードで前記レート歪み傾斜計算器が動作することを特徴とするレート歪み最適化埋め込み符号器。

16. 請求項15に記載のシステムにおいて、前記レート歪み傾斜計算器は、  
係数の各層について1つの精錬モードレート歪みエントリおよび最大確率シンボルとなるシンボル1用の第1のエントリと、シンボル0用で有効性の確率に関連している多重QM符号器状態の1つにそれぞれ対応して最大確率シンボルとなるシンボル0用の第2のエントリとを含む2つの有効性認定モードレート歪みエントリを含む索引テーブルを備えたことを特徴とするレート歪み最適化埋め込み符号器。

## 【発明の詳細な説明】

## 発明の名称

レート歪みを最適化した埋め込み画像符号器

## 発明の背景

本発明は、埋め込み符号化技術に関し、より詳しくは、レート歪みが改良された埋め込み画像符号器に関するものである。

埋め込み画像符号化は、符号化性能を改良することができると共に、ビットストリームをどの点でも切捨てることが可能なばかりでなく、相応に良好な画像に復号することができる。埋め込み符号技術の代表的なものとしては、以下のものがある。

埋め込みゼロツリーウェーブレット符号法 (EZW) が、J.Shapiro, "ウェーブレット係数のゼロツリーを用いる埋め込み画像符号化 (Embedded image coding using zerotree of wavelet coefficients)", IEEE Trans., Signal processing誌, vol.41, pp.3445~3462, Dec. 1993に述べられ、また、階層ツリーにおけるセット分割 (SPIHT) が、A.Said and W.Pearlman, "階層ツリーにおけるセット分割に基づく新規で高速かつ効果的な画像コーデック (A new, fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees)", IEEE Trans., Circuit and System for Video Technology誌, Vol.3, No.3, Jun.1996, pp.243~250で議論され、さらには、積層されたゼロツリー符号化 (LZC) が、D.Taubman and Zakhor, "動画のマルチレート3-Dサブバンド符号化 (Multirate 3-D subband coding of video)", IEEE Trans. on Image Processing, Vol.3, No.5, Sept.1994, pp.572-588に述べられている。

符号化するビットストリームを単に切捨てることによって圧縮率の調整が可能なので、埋め込みをすることが多くのアプリケーションで魅力的となっている。例えば、プログレッシブ画像送信、インターネットブラウジング、スケーラブル画像および動画データベース、デジタルカメラ、低遅延画像通信などである。

インターネット画像ブラウジングを例にとってみると、埋め込み符号法では、

サーバへのたった1枚の高品質画像のコピーの記録が必要であるだけである。ユ

ーザの要求、チャンネル帯域幅条件、およびブラウザのモニタ品質によって、選択された量のビットストリームがブラウザへ送られる。ブラウジングの早い段階では、画像は粗い品質で検索することができるので、興味のある画像を選ぶ前は、ユーザは、速く数多くの画像を調べることができる。そして、選択された画像は、全部をより良い品質でダウンロードすることができる。ダウンロード処理中は、画像品質は徐々に精練される。ユーザは、画像品質が画像を理解するのに十分となればすぐに、ダウンロード処理を終了させることができる。

埋め込み符号法の場合は、ビットストリームは任意に切捨てることができる。しかしながら、現存する埋め込み符号技術は、ビットストリームにおいて全ての切り捨て点で最適化されている訳ではない。従って、符号化ビットが、ビットストリームの任意点で切捨てられた場合は、切捨て点まで作成された画像は、必ずしも最適画像品質を作成するとは限らない。

符号化係数のレート歪み(R-D)傾斜が全て同一ならば、固定レート符号器が、最適となることは知られている。例えば、T. M. Cover and J. A. Thomas, "情報セオリーの要素 (Elements of information theory)", Chapter 13, John Wiley & Sons Inc, 1991を参照。各マクロブロックの量子化ステップサイズQを調整するためのレート制御には、規準が使われていた。このような場合、動画ビデオ符号化は、全マクロブロックのR-D傾斜が一定な時は、最適であった。例えば、L.-J. Lin, A. Ortega and C.-C. J. Kuo, "スプライン挿入されたR-Dキャラクタを用いるレート制御 (Rate control using spline-interpolated R-D characteristics)", SPIE: Visual Communication and Image Processing, vol.2727, Orlando, FL, Apr., 1996およびK. Ramchandran, A. Ortega and M. Vetterli, "多解像度及びMPEGの動画符号器に適用された従属量子化のためのビット割り当て (Bit allocation for dependent quantization with applications to multiresolution and MPEG video coders)", IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 3, No. 5, Sep., 1994, pp.533-545を参照のこと。

ションおよびラムチャンドラン(Xiong and Ramchandran)は、定率歪み傾斜

規準を用いて、ウェーブレットパケット符号法に最適量子化(法)を導出している

。Z. Xiong and K. Ramchandran, "結合空間周波数量子化を用いるウェーブレットパケットに基づく画像符合化 (Wavelet packet-based image coding using Joint space-frequency quantization)", First IEEE International Conference on Image Processing, Austin, Texas, Nov. 13-16, 1994を参照のこと。しかしながら、ションおよびラムチャンドランは、埋め込み符号器用には、レート歪みを最適化していない。

有効性認定(significance identification)と精錬符号化(refinement coding)のR-D傾斜は異なっており、精錬符号化の前に有効性認定を置くことにより、符号化効率を改良することができる。しかしながら、幾つかの係数の符号化の順番のみが実行されるので、改良にも限界がある。Li, Cheng and Kuo J. Li, P. Cheng and C-C. J. Kuo, "埋め込みゼロツリーウェーブレットの改善のために (On the improvements of embedded zerotree wavelet (EZW) coding)" SPIE: Visual Communication and Image Processing, vol. 2601, Taipei, Taiwan, May. 1995, pp. 1490-1501を参照のこと。

従って、符号化されたビットストリームでの多くの切り捨て点におけるレート歪みを最適化する埋め込み符号器が、今も必要とされている。

#### 発明の概要

レート歪みを最適化した埋め込み(RDE)符号器は、符号化係数によりR-D傾斜の順で、レート歪み性能を最適化する。先ず最初に、使用可能な符号化ビットを最大R-D傾斜の係数に割り当てるが、これは、符号化ビット当たりの歪み減少が最大となることを示している。その結果としてRDEビットストリームは、どの点でも切捨てることができるばかりでなく、最適R-D性能をも維持できる。符号化順序送信のオーバーヘッドを避けるには、期待R-D傾斜が、前のRDE符号化ビットから符号器および復号器の双方で計算される。QM算術符号器からの確率評価テーブルにより、R-D傾斜は索引テーブル演算を用いて導出することができる。RDEレート歪み最適化により、広い範囲のビットレートにわたって、符号化が極めて効率的に改善される。

RDE埋め込み符号化法は、画像をデジタル化し、次いで、画像を変換して、



それぞれが多重ビットからなる係数のセットを形成する。RDE符号器は、個々のビットを符号化する前に全ての候補ビットを繰り返し分析する。

候補ビットは、各係数からの最上位の未符号化ビットを有している。候補ビットの個々のレートー歪み値は、ビット送信の際のコスト当たりのビット中情報内容の比を表している。選択されたビットは、次いで、関連するビットの歪み減少値に従って符号化される。

1つの実施態様においては、最大歪み減少値を有する候補ビットの内の1つが、符号化される。上記候補ビットは、符号化されたビット係数内で次に有効性が大きいビットおよび残りの未符号化候補ビットを含んで、更新される。

符号化ビット当たりの最大歪み減少値を有する候補ビットのなかの1つが、次に符号化される。この処理は、RDE符号器が特定のビットレートに達するまで、続けられる。

他の実施態様においては、しきい値が設定されて、このしきい値よりも大きい歪み減少値を有する候補ビットが、各走査で符号化される。上記候補ビットは、符号化されたビット係数の次に有効性が大きいビットおよび残りの未符号化候補ビットを含んで、更新される。しきい値は、次いで、減少して、次の未符号化候補ビットのセットが処理される。

減少したしきい値よりも大きな歪み減少値を有するその次のセット中の候補ビットが、次いで、符号化される。この処理は、RDE符号器が所定のビットレートに達するまで、繰り返される。

本発明について、前述その他の目的、特徴および利点は、以下の本発明の好適な実施態様についての詳細な説明および付属の図面の参照からより明らかになるであろう。

#### 図面の簡単な説明

図1は、従来の符号化ビットストリームと本発明によるレートー歪み最適化による符号化ビットとを比較したグラフである。

図2は、変換後のビットアレイを示すテーブルである。

図3aは、先行技術の通常の符号器の符号化順序を示すテーブルである。

図3 bは、先行技術の埋め込み式符号器の符号化順序を示すテーブルである。

図3 cは、本発明によるレート歪み最適化埋め込み式符号器（RDE）用の符号化順序を示すテーブルである。

図4は、前の符号化ビットに基づくレート歪み傾斜のRDE評価を示すテーブルである。

図5は、本発明によるRDE符号器のブロックダイアグラムである。

図6は、有効性認定ビット、精錬ビット、及び記号ビットを示すテーブルである。

図7は、先行技術のQM符号器用画像コンテキストを示す。

図8は、RDE符号器のレート歪み傾斜に用いられる符号化間隔サブディビジョンを説明するグラフである。

図9は、有効性認定用レート歪み傾斜修正因子を示すグラフである。

図10は、本発明に従って、図5のRDE符号器によるレート歪み最適化埋め込み符号化処理を示すフローチャートである。

図11は、RDEレート歪みを他の符号化技術と比較するグラフである。

図12は、RDE符号器用符号化順序の他の例を示すグラフである。

図13は、図11における幾つかの符号化技術をレート歪みで比較するテーブルである。

#### 詳細な説明

ビットストリームにおいて全ての切捨て点で最適レート歪み性能を達成するために、最大レート歪み（R-D）傾斜の順番でシンボルが符号化される。RDE符号器による結果は、図1に説明するとおりである。5つのシンボルa, b, c, d, eがあつて、これらは別個に符号化される。各シンボルの符号化には、横軸にレートRで表現される或る量のビットが必要である。符号化ビットは、結果的に、縦軸に歪みDで表現される或る量の歪み減少となる。

シンボルaからeの順番による通常のシーケンシャル符号化では、実線12で示すR-D曲線となる。破線14で示すR-D曲線は、符号化が再整理された時

の結果を示し、最大R-D傾斜のシンボルが最初に符号化される。両性能曲線は

同じ最終R-D点に達するが、破線14を生成する符号器は、出力ビットストリームがどの中間ビットレートで切捨てられた時でも、より性能良く処理する。

本発明によるレート歪み最適化符号器(RDE)は、使用可能な符号化ビットを先ず最初に最大R-D傾斜の係数に割り当てる。この最大R-D傾斜は、符号化ビット当たりの画像の最大歪み減少を与える係数ビットとして定義される。全てのシンボルが符号化された時は、符号化はロスなしとなり、RDEは、非RDE符号化技術と同様な性能を発揮することができる。しかしながら、RDE最適化処理では、通常の埋め込み符号化が中間ビットレートで、通常以上の性能が得られる。画像データの符号化に用いたフィルタまたは変換が整数に基づいていなければ、ロスなし符号化が達成できないので、RDEは常に通常の埋め込みよりも良い性能が得られる。

主としてRDEで行われる2つのステップは、R-D傾斜計算および係数選択である。符号化順序のオーバーヘッド送信を避けるには、RDEは期待R-D傾斜に基づくことが可能であり、この傾斜は、別個に符号器および復号器の双方で計算される。上記期待R-D傾斜は、QM符号器の確率予想テーブルに関連して索引テーブル演算を用いて計算することができる。QM符号器の演算は、次の文献に説明されている。W.Pennebaker and J.Mitchell, IBM, "算術符号器に対する適用可能性 (Probability adaption for arithmetic coders)", 米国特許第5,099,440号明細書, Mar.24,1992;およびD.Duttweiler and C.Chamzas, "算術及びホフマンエントロピー適用符号器における評価可能性 (Probability estimation in arithmetic and adaptive Huffman entropy coders)", IEEE Trans. on Image Processing, vol.4 no.3, Mar. 1995, pp.237-246両文献共を、この参照とする。

#### レート歪み最適化埋め込み(RDE)の実行

以下の説明では、画像は、既に変換ドメインに変換されていることとする。どんな変換であっても、ウェーブレット分解またはDCT変換を含む埋め込み符号化技術と共に用いることができる。簡単にするために、上記RDEは、ウェーブ

レット分解の面からみて説明する。変換係数の索引は、 $i = (s, d, x, y)$

であらわされる。ここで、 $s$ はウェーブレット分解のスケールで、 $d$ はLL, LH, HLおよびHHを含むサブバンドで、 $x, y$ はサブバンド内での空間的位置である。

$d$ の最初と2番目の文字は、それぞれ縦および横方向に適用したフィルタを示す。文字Lはローパスフィルタを示し、Hはハイパスフィルタを示す。Nは、変換係数の合計数を示す。索引位置  $i$  における係数は、 $w_i$  で表される。上記係数は、変換係数  $T_0$  の最大絶対値の割算により、既に正規化されていると仮定する。

$$w'_i = \frac{w_i}{T_0} \quad \text{with} \quad T_0 = \max_i |w_i| \quad (1)$$

記号を簡単にするために、 $w'_i$  のアポストロフィは除き、正規化変換係数は単に  $w_i$  であらわす。 $w_i$  は、 $-1$  と  $+1$  との間であるので、次式(2)のようにバイナリビットのストリームで表せる：

$$\pm 0. b_1 b_2 b_3 \cdots b_j \quad (2)$$

ここで、 $b_j$  は  $j$  番目に最上位があるビットまたは、択一的に係数  $w_i$  の  $j$  番目の符号化層とする。簡単にするために(レート-歪み最適化埋め込み(RDE)の以下の説明参照)、符号化シンボルは、エントロピー符号器へ送られる最小ユニットとして定義され、上記係数  $w_i$  の単一ビット  $b_j$  または  $w_i$  の記号のいずれか一方である。

しかしながら、本発明の範囲は、容易に符号化装置に拡張することができるので、符号化シンボルは、EZWや階層ツリーにおけるセット分割(SPIHT)の場合のように、各係数からのグループを符号化することを含むようにすることができる。

1次元-ウェーブレット変換で作成されたサンプルビットアレイを、図2に示す。上記ビットアレイの  $i$  番目の行は、変換係数  $w_i$  を表し、該ビットアレイの  $j$  番目の列は、ビットプレーン  $b_j$  を表す。最上位ビットは、最左列に位置し、最下位ビットは、最右列に位置する。

上記ビットアレイの符号化順序は、従来の埋め込みやレート-歪み最適化埋め

込み符号器とは異なる。通常の符号器例えばJ P E G符号器やM P E G符号器では、先ず最初に量子化精度または等価的に各係数を符号化するビット数を決定し、次いでシーケンシャルに係数を次々に成るエントロピー符号法によって符号化する。

例えば図2のビットアレイを用いて、通常の符号法が、図3aに示すところまで行毎に命令される。第1行16が符号化され、第2行18が符号化され、このようにして全体のビットプレーンが符号化されるまで続けられる。

埋め込み符号法は、図3 aに示す通常の符号法とは異なる。つまり、画像は、図3 bに示すように、ビットプレーン毎に（列毎に）符号化される。最初の列20の各係数の最初のビットが、係数 $w_0$ の最初のビットから初めて係数 $w_7$ の最初のビットで終わるようにして、符号化される。埋め込み符号器は、次いで係数の2番目の列の符号化を開始するが、係数 $w_0$ の2番目のビットから初めて係数 $w_7$ の2番目のビットで終わるようにする。

埋め込まれたビットストリームは、切捨てることができるが、依然としてある程度の画像品質を維持することができる。つまり、各係数の最上位部分が最初に符号化されるからである。これは、また順送り画像送信に好適である。つまり、復号された画像の品質が、受信したビット量の増加に従って、徐々に良くなるからである。これに対して、図3 bに示す埋め込み符号化技術の符号化順序は、順送り送信用としては、最適化されていない。

R D Eは各ビット $b_j$ についてのR-D傾斜 $\lambda_i$ を計算し、そのビットを最大R-D傾斜で符号化する。R D Eの実際の符号化順序は、計算されたR-D傾斜に依存しており、また画像依存でもある。R D Eの符号化順序の例が、図3 cに示されており、ここでは、第1のグループのビット24が斜めハッチング（係数 $w_0$ から $w_4$ の最初のビットを含む）で示されており、これが最初に符号化される。そして次に、逆向きハッチングで示した第2のグループのビット26が、符号化される。第2のグループのビット26の符号化順序は、係数 $w_0$ の2番目のビットの符号化で始まり、次いで係数 $w_2$ の2番目のビット、次いで係数 $w_3$ とな

る。最後に、係数 $w_4$ から $w_7$ の最初のビットが符号化される。同じ処理が、グル

ープ28の横ハッチングのビットになされ、係数 $w_1$ の2番目のビットから始めて、係数 $w_7$ の2番目のビットで終わる。

この処理は、特定のビットレートに達するまで、または全ての係数が符号化されるまで続けられる。RDEのより精密な符号化順序を、図12のテーブル1に示す。符号化の順序、符号化するシンボル、およびその値を、この順序で列1、2および3に示す。

#### 期待レートー歪み傾斜

以下の説明において、候補ビット $b_{n_i}$ と $b_{n_i}$ は同じ値を表現するものであり、又、ステップサイズ $T_{n_i}$ と $T_{n_i}$ は同じ値を表現するものである。

最適化が、実際のレートー歪み(R-D)傾斜に基づくのであれば、復号器には符号化の順序が知らされねばならない。実際の最大R-D傾斜でシンボル位置の送信には、大きなビット付加が必要で、レートー歪み最適化でもたらされる全ての利点が簡単に無に帰する可能性もある。符号化順序送信を避けるには、推定されたR-D傾斜を符号器および復号器の双方で計算するために、評価技術が用いられる。

図4は、送信ビットに基づいて、レートー歪み傾斜がどのように計算されるかを示すものである。横ハッチングで記したビットは、既に符号化済である。格子縞模様で記したビットは、次の符号化候補ビットである。文字Sは、R-D傾斜を示している。つまり、そのビットが、有効性認定モードを用いて評価されるからである。文字Rは、R-D傾斜を示している。つまり、そのビットが、精錬評価モードを用いて評価されるからである。

或る符号化の例として仮定すると、係数 $w_i$ の最上位( $n_i - 1$ )ビットは、既に符号化済である。考慮されている候補ビットの次のセットは、 $w_i, i=1, \dots, N$ の $n_i$ 番目のビットである。RDEは、各候補ビット $b_{n_i}$ について期待R-D傾斜 $\lambda_i$ を計算し、最大の $\lambda_i$ でそのひとつのビットを符号化する。期待R-D傾斜 $\lambda_i$ は、符号化層 $n_i$ 、係数 $w_i$ の有効性状態(もし $w_i$ の前の( $n_i - 1$ )ビットが全てゼロであっても)、および周囲の係数の有効性の状態に基づいている。

。

ビット  $b_{ni}$  が符号化されれば、RDEは、符号化ビット当たりの歪み減少を評価する。期待R-D傾斜を計算のために用いる情報は、前に送信したビットから復号器で別個に導出することができるので、該復号器は、オーバーヘッド送信をしなくても、該復号器の符号化順序に従うことができる。RDEは、費やしたビット当たりの最大期待歪みを与えるシンボルを符号化し、従って、最適化R-D埋め込み符号化性能を、図1の破線14で示すように達成する。

RDE符号器を用いる符号器30を、図5に示す。デジタル化された画像31は、変換32で係数に変換される。上記RDE符号器は、R-D傾斜計算器34を備えているので、係数ビットとシンボル選択器36のR-D傾斜を評価し、この選択器36は、計算されたR-D傾斜値に従い、続けて符号化するためのビットを選択する。

量子化器38が、RDEで命令されたビットを量子化し、算術符号器40が、量子化ビットをさらに符号化する。量子化器38の出力は、逆量子化され、変換32からの係数値出力から減算される。

伝統的な埋め込み符号器と比較すると、RDEには2つの鍵となる演算がある、即ちR-D傾斜の計算および係数選択である。RDEの計算機的複雑さを低く押さえるためには、両演算共に効率的でなければならない。

#### レート-歪み傾斜の計算

以下に説明する符号化技術により、索引テーブル演算を用いて期待R-D傾斜の導出が可能となる。RDEにおいては、候補ビット  $b_{ni}$  の符号化は、有効性認定モードまたは精錬モードのいずれか一方を用いてなされる。

もし係数  $w_i$  の前のビットの全てが0、 $b_j=0$  ( $j=1 \cdots n_i-1$  のとき) であっても、有効性認定モードがビット  $b_{ni}$  を符号化するのに使用されており、そうでない場合は、精錬モードが使われている。

簡単にするために、前の符号化ビットが全てゼロであったら、係数  $w_i$  は、有効でないとする。

有効係数は、値ゼロで復号器側にて再構築される。最初のゼロでないビット  $b$

$n_i$  に会うと係数  $w_i$  は、有効になる。

係数の記号は、正と負を区別するために、符号化する必要があり、復号器でノンゼロとなる。この点からすると、精錬モードが、係数  $w_i$  の残りのビットを符号化するために使用される。

図6をみると、有効性認定モード中に符号化されたビットは、横ハッチングで記され、精錬モード中に符号化されたビットは、ドットで記されている。格子縞の模様で記されたビットは、記号ビットで、係数が丁度有効性ありとなった時に符号化される。有効性認定および精錬に対する期待 R-D 傾斜と符号化方法は、異なる。

有効性認定で、符号化ビットには、ゼロ「0」へ向けて強くバイアスがかけられてあり、つまり有効性なしである。有効性認定の結果は、QM符号器で符号化されるので、係数  $w_i$  の有効性の確率（記号  $p_i$  であらわす）をステートマシンで評価し、次いで算術復号を行う。

図7に示すように、7ビットのコンテキストが用いられ、これは半陰影の6つのビット44（6つの空間的に隣の係数）と、暗陰影の1つのビット46とからなっている。この暗陰影のビットは、同じ空間位置であるが現係数  $w_i$  よりも1つだけスケールが上（即ち低い解像度帯域のもの）に対応する係数の有効性状態を表している。

過去の「0」（有効性なし）と「1」（有効性あり）のパターンを同じコンテキスト（つまり、同じ隣接構成）をモニターしながら、上記QM符号器は、分析される現在のシンボルの有効性確率  $p_i$  の評価をする。

更に説明すると、 $n_0$  0シンボルと  $n_1$  1シンボルが過去の符号化内で同じコンテキストであったら、現在のシンボルが1で現される確率  $p$  は、ベイズの評価(Bayesian estimation)により、次のように計算される。

$$p = \frac{n_1 + \delta}{n_0 + \delta + n_1 + \delta} \quad (3)$$

ここで、 $\delta$  は  $[0, 1]$  間のパラメータで、符号化シンボルのアプリオリな確率と関連がある。上記確率  $p$  は、ある状態と関連している。これにより、上記符



号化シンボルが1か0かに依って確率 $p$ は増加または減少し、上記符号器が他の状態になるように転送される。

同様の確率の状態を組み合わせ、且つ確率評価の精度とソース特性の変化に対する即応性とのバランスを取って、QM符号器状態テーブルを設計する。

QM符号器とその確率評価については、W.Pennebaker and J.Mitchell, IBM, "算術符号器に対する適用可能性 (Probability adaption for arithmetic coders)", 米国特許第5,099,440号, 1992年3月24日; D.Duttweiler and C.Chamzas, "算術及びホフマンエントロピー適用符号器における評価可能性 (Probability estimation in arithmetic and adaptive Huffman entropy coders)", IEEE Trans. on Image Processing, vol.4 no.3, Mar. 1995, pp.237-246; およびW.Pennebaker and J.L.Mitchell, "J P E G スチール画像データ圧縮標準 (JPEG still imagedata compression standard)", New York:Van Nostrand Reinhold, 1993に説明されている。

一般的には、確率評価は、テーブル変換演算である。有効性の評価確率 $p_i$ は、算術符号化ばかりでなくR-D傾斜 $\lambda_i$ の計算にも使われる。一方、精錬性と記号ビットは、「0」と「1」との間のつりあいである。算術符号器の場合は、固定確率0.5で符号化する。

RDEでは、全候補ビット $b_m$ の期待R-D傾斜 $\lambda_i$ が計算されるので、これは平均歪み減少を平均符号化レート増加で割ったものである：

$$\lambda_i = \frac{E[\Delta D_i]}{E[\Delta R_i]} \quad (4)$$

上記期待R-D傾斜は、符号化レート当たりの歪み減少を平均することによって計算することはできない：

$$\lambda_i = E \left[ \frac{\Delta D_i}{\Delta R_i} \right] \quad (5)$$

これは、丁度、速度を変えながらいくつかの区間を走行する乗り物の平均速度

を計算するようなものである。平均速度は、走行距離合計を走行時間合計で割ったものに等しく、各区間の速度の平均ではない。

図8をみると、ビット  $b_{ni}$  の符号化前に係数  $w_i$  が、復号化再構築  $r_b$  によって間隔  $(M_{0,b}, M_{1,b})$  内にあることが知られていると仮定する。ビット  $b_{ni}$  の符号化により、係数  $w_i$  の追加情報が与えられ、復号化再構築  $r_{k,a}$ ,  $k=0, \dots, K-1$  によって、副間隔  $K$   $(M_{k,a}, M_{k+1,a})$  のひとつにこれが入るのを制限される。間隔境界は次の関係を満たす：

$$M_{0,b} = M_{0,a} < M_{1,a} < \dots < M_{K,a} = M_{1,b} \quad (6)$$

これに反して、復号化再構築は、普通は間隔の中心にある：

$$r_b = (M_{0,b} + M_{1,b})/2 \quad (7)$$

$$r_{k,a} = (M_{k,a} + M_{k+1,a})/2, \quad k=0, \dots, K-1. \quad (8)$$

平均歪み減少と平均符号化レート増加は以下のように計算される：

$$\sum_{k=0}^{K-1} \int_{M_{k,a}}^{M_{k+1,a}} [(x-r_b)^2 - (x-r_{k,a})^2] p(x) dx \quad (9)$$

$$E[\Delta R_i] = \sum_{k=0}^{K-1} -P_k \log_2 P_k \quad \text{with} \quad P_k = \int_{M_{k,a}}^{M_{k+1,a}} p(x) dx \quad (10)$$

ここで  $p(x)$  は、符号化シンボルのアプリアリな確率分布であるので、全体の間隔  $(M_{0,b}, M_{1,b})$  の確率が1に等しくなるように、正規化されている：

$$\int_{M_{0,b}}^{M_{1,b}} p(x) dx = 1 \quad (11)$$

候補ビット  $b_{ni}$  が有効性認定を受け入れるならば、 $b_{ni}$  の符号化前に間隔  $(-2T_{ni}, 2T_{ni})$  内で、係数  $w_i$  は有効性なしとなるが、ここで  $T_{ni} = 2^{-n_i}$  は、符号化層  $n_i$  で決定される量子化ステップサイズである。

$b_{ni}$  符号化後、係数  $w_i$  は間隔  $(-2T_{ni}, -T_{ni})$  で負の有効性ありで、間隔  $[T_{ni}, 2T_{ni})$  で正の有効性ありとなり、または間隔  $(-T_{ni}, T_{ni})$  でも依然として有効性なしである。従って、セグメント境界で有効性認定後、3つの

セグメントの可能性がある：

$$\begin{aligned} M_{0,b} &= M_{0,a} = -2 T_{ni}, \quad M_{1,a} = -T_{ni}, \\ M_{2,a} &= T_{ni}, \quad M_{3,a} = M_{1,b} = 2 T_{ni} \end{aligned} \quad (12)$$

有効性認定前の復号化再構築値は：

$$r_b = 0 \quad (13)$$

有効性認定後の各セグメントの復号化再構築値は：

$$r_{0,a} = -1.5 T_{ni}, \quad r_{1,a} = 0, \quad r_{2,a} = 1.5 T_{ni} \quad (14)$$

つまり、有効性の確率  $p_i$  即ち QM 符号器により評価される確率  $b_{ni} = 1$  は、次式であらわすことができる：

$$p_i = \int_{-T_{ni}}^{-T_{ni}} p(x) dx + \int_{T_{ni}}^{2T_{ni}} p(x) dx. \quad (15)$$

有効間隔内のアプリアリな確率分布が均一であると仮定すると、 $p(x)$  は次式であらわされる：

$$p(x) = \frac{p_i}{2T_{ni}}, \quad T_{ni} < |x| < 2T_{ni} \quad (16)$$

式 (12)、(13)、(14) および (16) を (9) および (10) に代入することにより、上記平均歪み減少および平均符号化レート増加は、有効性認定で、次のように計算される。

$$E[\Delta D_i] = p_i 2.25 T_{ni}^2 \quad (17)$$

$$E[\Delta R_i] = (1-p_i)[- \log_2(1-p_i)] + 2 \frac{p_i}{2} (- \log_2 \frac{p_i}{2}) = p_i + H(p_i) \quad (18)$$

ここで、 $H(p)$  は、確率 1 で  $p$  に等しい場合、バイナリシンボルのエントロピーである。

$$H(p) = -p \log_2 p - (1-p) \log_2 (1-p) \quad (19)$$

なお、平均歪み (17) は、非有効間隔  $(-T_{ni}, T_{ni})$  内のアプリアリな確率には関連していない。つまり、その間隔内では、符号化前後の復号値は、共に

0であるからである。有効性認定の期待R-D傾斜は、(17)および(18)から以下のように導かれる：

$$\lambda_{i,\text{sig}} = \frac{E[\Delta D_i]}{E[\Delta R_i]} = \frac{2.25 T_{n_i}^2}{1 + H(p_i)/p_i} = f_s(p_i) T_{n_i}^2 \quad (20)$$

関数  $f_s(p)$  は、有効R-D傾斜修正因子で以下のように定義される：

$$f_s(p) = \frac{2.25}{1 + \frac{H(p)}{p}}, \quad (21)$$

図9は、有効性認定の上記R-D傾斜修正因子を記すものである。有効性が高確率の場合、シンボルは、大きいR-D傾斜を有し、従って、最初に符号化されるのがよい。上記R-D傾斜の計算は、単に上記符号化層  $n_i$  および有効性の確率  $p_i$  に基づいており、順繰りにQM符号化状態を通して評価される。

精錬符号化用に期待R-D傾斜が同様にして導かれ、ここで、係数  $w_i$  が、間隔  $[S_i, S_i + 2 T_{n_i})$  からセグメント  $[S_i, S_i + T_{n_i})$  または  $[S_i + T_{n_i}, S_i + 2 T_{n_i})$  の1つに精錬される。  $T_{n_i} = 2^{-n_i}$  は、また符号化層  $n_i$  で決定される量子化ステップサイズであり、  $s_i$  は、係数  $w_i$  の前に符号化されたビットで決定される精錬間隔の開始である。セグメントの境界は：

$$M_{0,b} = M_{0,a} = S_i, M_{1,a} = S_i + T_{n_i}, M_{2,a} = M_{1,b} = S_i + 2 T_{n_i} \quad (22)$$

対応する復号再構築値は、

$$r_b = S_i + T_{n_i}, r_{0,a} = S_i + 0.5 T_{n_i}, r_{1,a} = S_i + 1.5 T_{n_i} \quad (23)$$

間隔  $[S_i, S_i + 2 T_{n_i})$  内のアプリアリな確率分布が均一であると仮定すると、次式が得られる：

$$p(x) = \frac{1}{2 T_{n_i}}, \quad S_i < x < S_i + 2 T_{n_i} \quad (24)$$

精錬符号化の平均歪み減少および符号化レート増加は、次式で計算される：

$$E[\Delta D_i] = 0.25 T_{n_i}^2 \quad (25)$$

$$E[\Delta R_i] = 1 \quad (26)$$

従って、精錬符号化のR-D傾斜は次のとおりである：

$$\lambda_{i,\text{ref}} = \frac{E[\Delta D_i]}{E[\Delta R_i]} = 0.25 T_{n_i}^2 \quad (27)$$

式(20)および(27)を比較すると、同一の符号化層 $n_i$ では、上記有効性確率 $p_i$ が0.01より大である時はいつでも、精錬符号化のR-D傾斜は、有効認定のそれ(R-D傾斜)よりも小である。従って、一般的に、有効認定符号化は、精錬符号化の前に実行すべきである。

係数 $w_i$ のアプリオリな確率分布は、ラプラス分布でモデリングすることができる。この場合、精錬および有効性認定のR-D傾斜は、以下のとおりとなる：

$$\lambda_{i,\text{sig}} = f_s(p_i) g_{\text{sig}}(s, T_{n_i}) T_{n_i}^2 \quad (28)$$

$$\lambda_{i,\text{ref}} = 0.25 g_{\text{ref}}(s, T_{n_i}) T_{n_i}^2 \quad (29)$$

ここで、 $\sigma$ はラプラス分布の分散で、既に符号化された係数から予測し得るもので、 $g_{\text{sig}}(\sigma, T)$ および $g_{\text{ref}}(\sigma, T)$ は、次式で現すラプラス修正因子である。

$$g_{\text{sig}}(\sigma, T) = \frac{1}{2.25} \left( 0.75 + \frac{3\sigma}{T} - \frac{3e^{-T/\sigma}}{1-e^{-T/\sigma}} \right) \quad (30)$$

$$g_{\text{ref}}(\sigma, T) = 4 \left( 0.75 + \frac{\frac{2\sigma}{T} e^{-T/\sigma} - \frac{\sigma}{T} (1+e^{-2T/\sigma})}{1-e^{-2T/\sigma}} \right) \quad (31)$$

しかしながら、実験によると、ラプラス確率モデルでは、追加的に性能改良がなされることは少ない。均一確率モデルは、実行がかなり簡単なので、以下に説明する実験を通じて使用する。

有効性の確率 $p_i$ は、離散的にQM符号器状態により決定されるので、上記符

号化層 $n_i$ に関連する量子化ステップサイズ $T_{n_i}$ も、離散的であり、有効性認定(20)および精錬(27)双方のR-D傾斜が離散的な状態の数を持っている

。

計算を速くする場合には、式(20)および(27)が、予め計算されて、上記符号化層 $n_i$ およびQM符号器の状態で索引されたテーブルに記録される。

R-D傾斜の計算は、こうして、索引テーブル演算となる。精錬のR-D傾斜には、符号化層当たり1つのエントリが必要である。

有効性認定のR-D傾斜には、符号化層当たりおよびQM符号器状態当たり2つのエントリが必要であるが、各QM符号器状態は、有効性の確率 $p_i$ (最大確率のシンボルが1のとき)または有効性の確率 $1 - p_i$ (最大確率のシンボルが0のとき)に対応する。よって、索引テーブルのエントリMの総数は：

$$M = 2KL + K \quad (32)$$

ここで、Kは最大符号化層で、LはQM符号器の状態数である。現在の実行では、QM符号器には総計で113の状態および最大で20の符号化層がある。これにより、4540エントリサイズの索引テーブルがもたらされる。

(係数選択)

図5でシンボル選択36で実行される第2のRDEステップは、最大期待R-D傾斜で係数を選択することである。これは、余すところのない検索あるいは候補ビットの全体をソートすることにより行われるので、計算機的に高価となる。この代わりには、しきい値方式の取り組みも可能である。この概念では、一連の減少するR-D傾斜しきい値 $\gamma_0 > \gamma_1 > \dots > \gamma_n > \dots$ を設定し、全体の画像を繰り返して走査することである。

$\gamma_n$ と $\gamma_{n+1}$ との間のR-D傾斜でのシンボルは、繰返しnで符号化される。しきい値方式レート歪み最適化では、ややビット性能が犠牲になる。というのは、 $\gamma_n$ と $\gamma_{n+1}$ との間のR-D傾斜でのシンボルは、区別がつかないからである。しかしながら、最大R-D傾斜の検索が回避されるので、符号化速度はかなり速くなる。

RDEの全体の符号化演算を、図10に示す。図10の左半分は、主なRDE演算フローを示しており、右半分は、R-D傾斜計算とシンボル符号化の詳細な説明である。有効性認定および精錬のシンボルは別個に処理されるので、R-D

傾斜の計算とシンボル符号化に枝分かれして示してある。

#### 1) 初期化

画像は、ある変換法例えばステップ52のウェーブレット変換で、分解される。初期R-D傾斜しきい値 $\gamma$ はブロック54で次のように $\gamma_0$ に設定される。

$$\gamma_0 = \frac{1}{16} T_0^2 \quad (33)$$

#### 2) 走査

全体の画像は、ステップ56で上下に最も粗いスケールから最も精緻なスケールまで走査される。スケールは、ウェーブレット分解の解像度として定義される。各スケール内でサブバンドは、シーケンシャルにLL, LH, HLおよびHHの順番で符号化される。符号器は、サブバンド内ではラスト線の順番に従う。

#### 3) 期待R-D傾斜の計算

期待R-D傾斜が、ブロック66および68の各係数の候補ビット用に、計算される。決定ブロック68では、係数に有効性があるかどうか（バイナリの1が、まだ係数ビットのストリング中に発生しているかどうか）を決定する。

期待R-D傾斜は、ブロック66で有効モード用に式(20)あるいはブロック68で精錬モード用に式(27)に従って計算される。このR-D傾斜の計算は、典型的にQM符号器の状態および符号化層 $n_i$ で索引された索引テーブル演算である。

#### 4) 符号化判断

計算されたR-D傾斜は、判断ブロック70で、現在のしきい値 $\gamma$ と比較される。現在の反復に対しR-D傾斜が $\gamma$ より小さい場合は、RDE符号器は、判断ブロック64へ飛び越して戻り、次の係数を処理する。 $\gamma$ より大きいR-D傾斜の候補ビットのみが符号化される。

#### 5) 候補ビットの符号化

係数が既に有効かどうかによって、候補ビットは、ブロック74で有効性認定またはブロック76で精錬により符号化される。図7で指定されたコンテキストを有するQM符号器は、ブロック74で有効性認定符号化に用いられる。固定確

率算術符号器が、ブロック76で記号および精錬を符号化するのに用いられる。上記記号ビットは、係数が有効になった直後に符号化される。上述の如く、QM符号法および算術符号法は、当業者に周知であるので、これ以上の説明は省略する。

#### 6) 反復

全体の画像が走査された後で、R-D傾斜しきい値は、ブロック66で、 $\alpha$ の因子により減少させられる：

$$\gamma \leftarrow \gamma / \alpha \quad (34)$$

現在の(計算)実行では、 $\alpha$ は1.25に設定されている。割り当てられた符号化レートに達しているかどうかを、ブロック62で上記RDEがチェックする。例えば、RDE符号器は、圧縮画像が所定数のビットに達したかどうかをチェックする。

上記符号化レートに達していない場合は、RDE符号器は飛び越してブロック56へ戻り、残りの未符号化ビットを新たな低いしきい値で繰返し符号化する。

#### 実験結果

大規模な実験を行い、RDEと他の現存するアルゴリズムと比較した。テスト画像は、Lena, Boats, Gold, Barbaraとした。画像Lenaは、サイズが512×512で、他の全てはサイズが720×576である。テスト画像は、レベル5の9-7タップ式2直交ドーベチズフィルタ(5-level 9-7 tap biorthogonal Daubechies filter)で分解される。次いで、トーブマン(Taubman)とザコー(Zakhor)が提案したLZC、サイド(Said)とパールマン

(Pearlman)が提案したSPIHTおよびレート歪み最適化埋め込み(RDE)によりこの順で圧縮される。

SPIHT符号器は、参照符号器として用いられる。RDEはLZCのビットストリームを実質的に切り混ぜて、埋め込み性能を良くする。従って、RDEはLZCと比較してレート歪み最適化でメリットがある。RDEでのQM符号器の初期確率は、等式(即ち、全てのコンテキストの1の確率は0.5に等しい)



で設定される。画像の事前の統計は、使用されない。

この実験での圧縮レートは、8:1（ピクセル当たり1.0ビット（b p p））、16:1（ピクセル当たり0.5ビット（b p p））、32:1（ピクセル当たり0.25ビット（b p p））および64:1（ピクセル当たり0.125ビット（b p p））となるように選ばれる。3つの符号器全てが、埋め込み符号器なので、符号化は正確なビットレートで止めることができる。

比較結果を図13の表2に示す。符号化レートを、ピクセル当たりのビットで、第2列に示し、LZCおよびSPIHTのピークS/N比（PSNR）を、第3第4列に示し、RDEのPSNRNLZCに対するその利得、およびSPIHTを、第5、第6及び第7列にこの順序で示す。

Barbara画像のR-D性能曲線は、図11に記してある。RDEのR-D曲線は太実線78で、LZCは細実線80で、SPIHTは点線82で示す。

図11のR-D曲線では、数バイトの増分毎に1つのPSNR点を計算して、RDEがLZC、SPIHT双方以上の働きをしていることを示している。LZCに対するRDEの性能利得は、0.1~0.8 dBの範囲で、平均は0.3 dBである。

この利得は、レート歪み最適化の性能利点を示すものである。図11から、RDEのR-D性能曲線も、LZCのものよりかなり滑らかであることがわかる。この効果は、レート歪み最適化の直接の結果である。減少傾向のレート歪み傾斜によって組織化された埋め込みビットストリームがあると、結果として性能曲線の傾斜が徐々に減少し、RDEのR-D曲線が滑らかに見えるようになる。SPIHTに対するRDEの性能利得は、-0.1~1.0 dBの範囲で、平均は0.4 dBである。

従って、レート歪み最適化埋め込み符号器（RDE）は、先ず最初にシンボルを最大R-D傾斜で符号化することによって、可能な切捨て点全てで埋め込み符号化の性能を良くすることができる。

即ち、各符号化の瞬間において、RDEは、符号化ビット当たり最大の歪み減少で、符号化シンボルを符号化するのにビットを費やすことになる。復号器と符

号器との同期には、RDEが期待R-D傾斜を用いるので、復号器および符号器の双方により別個に計算することができる。

また、QM符号器の確率評価テーブルの利点もあるので、R-D傾斜の計算は、索引テーブル操作を使ってすることができる。

好適な実施例により、本発明の原理を図説および説明したが、本発明の原理から離れることなく、本発明は、組合せや詳細について修正が可能であることは明らかである。以下の請求項の範囲および精神に含まれる修正や変更の全てを請求する。

【図1】

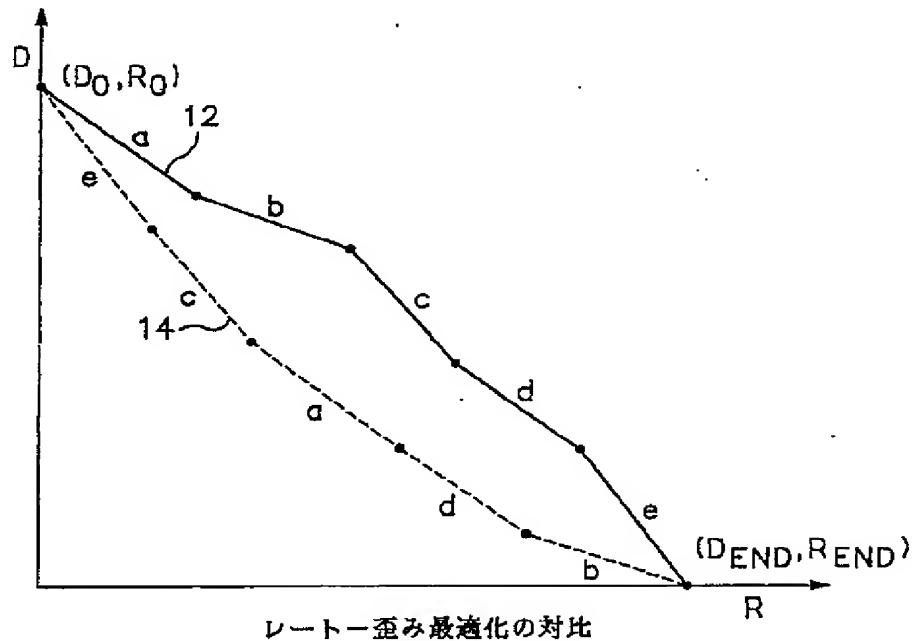


FIG.1

【図2】

		b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>	b <sub>7</sub>	符号
	L	0	1	0	1	1	0	1	+
	L	1	0	0	1	0	1	0	-
	L	0	0	1	0	1	0	1	+
	H	0	0	0	1	1	1	0	+
	H	0	0	0	0	1	0	0	-
	H	0	0	1	0	0	1	0	-
	H	0	0	0	0	1	0	0	+
	H	0	0	0	0	0	0	1	-

有効性大 ← → 有効性小

**FIG.2**  
(PRIOR ART)

【图3】

	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>	b <sub>7</sub>	符号	第1行 16
W <sub>0</sub>	0	1	0	1	1	0	1	...	+
W <sub>1</sub>	1	0	0	1	0	1	0	...	-
W <sub>2</sub>	0	0	1	0	1	0	1	...	+
W <sub>3</sub>	0	0	0	1	1	1	0	...	+
W <sub>4</sub>	0	0	0	0	1	0	0	...	-
W <sub>5</sub>	0	0	1	0	0	1	0	...	-
W <sub>6</sub>	0	0	0	0	1	0	0	...	+
W <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	1	...	-

FIG.3a

	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>	b <sub>7</sub>	符号	
W <sub>0</sub>	0	1	0	1	1	0	1	....	+
W <sub>1</sub>	1	0	0	1	0	1	0	....	-
W <sub>2</sub>	0	0	1	0	1	0	1	....	+
W <sub>3</sub>	0	0	0	1	1	1	0	....	+
W <sub>4</sub>	0	0	0	0	1	0	0	....	-
W <sub>5</sub>	0	0	1	0	0	1	0	....	-
W <sub>6</sub>	0	0	0	0	1	0	0	....	+
W <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	1	....	-

20 第1列      22 第2列      第3列

FIG.3b

【図3】

	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>	b <sub>7</sub>	.....	符号
W <sub>0</sub>	0	1	0	1	1	0	1	.....	+
W <sub>1</sub>	1	0	0	1	0	1	0	.....	-
W <sub>2</sub>	0	0	1	0	1	0	1	.....	+
W <sub>3</sub>	0	0	0	1	1	1	0	.....	+
W <sub>4</sub>	0	0	0	0	1	0	0	.....	-
W <sub>5</sub>	0	0	1	0	0	1	0	.....	-
W <sub>6</sub>	0	0	0	0	1	0	0	.....	+
W <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	1	.....	-

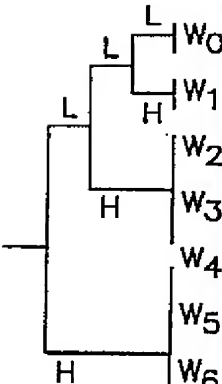
第1のグループ 24

第2のグループ 26

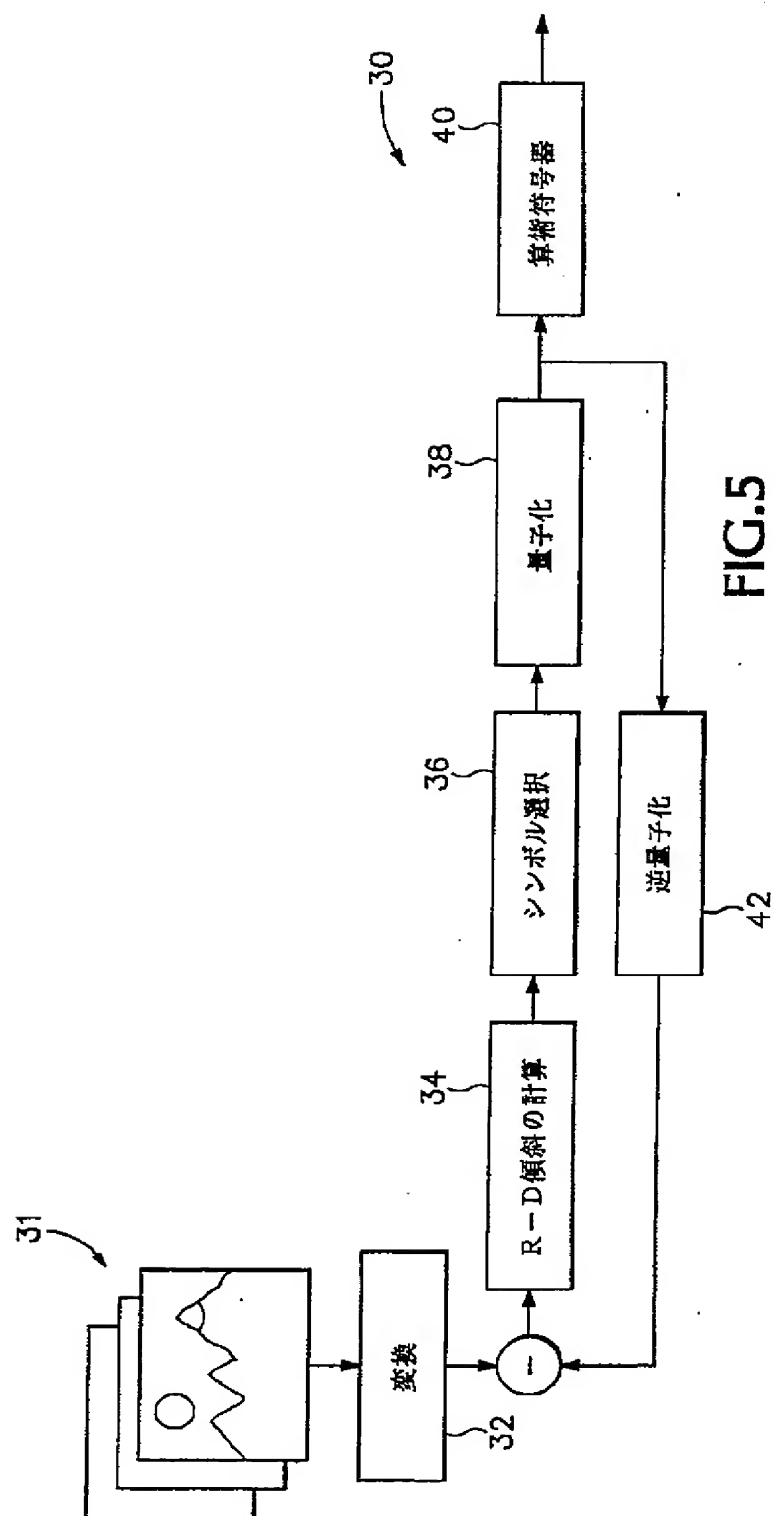
第3のグループ 28

FIG.3c

【図4】

		b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>	b <sub>7</sub>	符号	
	W <sub>0</sub>	0	1	0	1	1	0	1	.....	+
	W <sub>1</sub>	1	0	0	1	0	1	0	.....	-
	W <sub>2</sub>	0	0	1	1	1	0	1	.....	+
	W <sub>3</sub>	0	0	0	1	1	1	0	.....	+
	W <sub>4</sub>	0	0	0	0	1	0	0	.....	-
	W <sub>5</sub>	0	0	1	1	0	1	0	.....	-
	W <sub>6</sub>	0	0	0	0	1	0	0	.....	+
	W <sub>7</sub>	0	0	0	1	0	0	1	.....	-

【図5】





【図7】

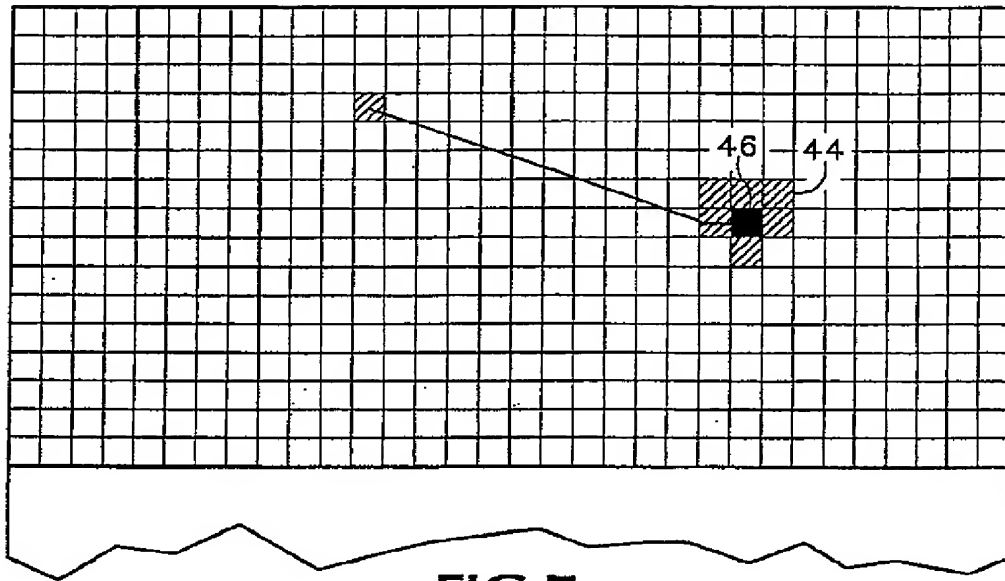


FIG. 7

【図8】

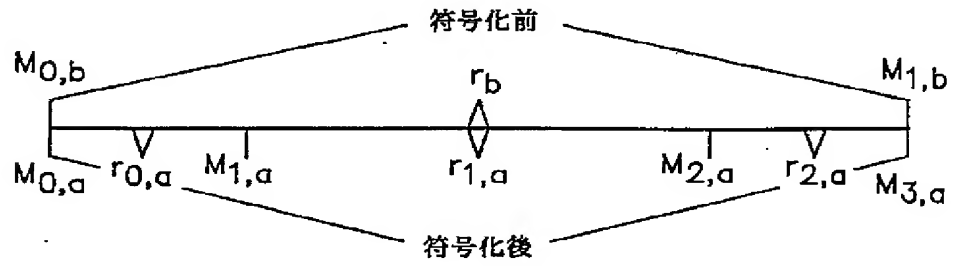


FIG. 8



【図9】

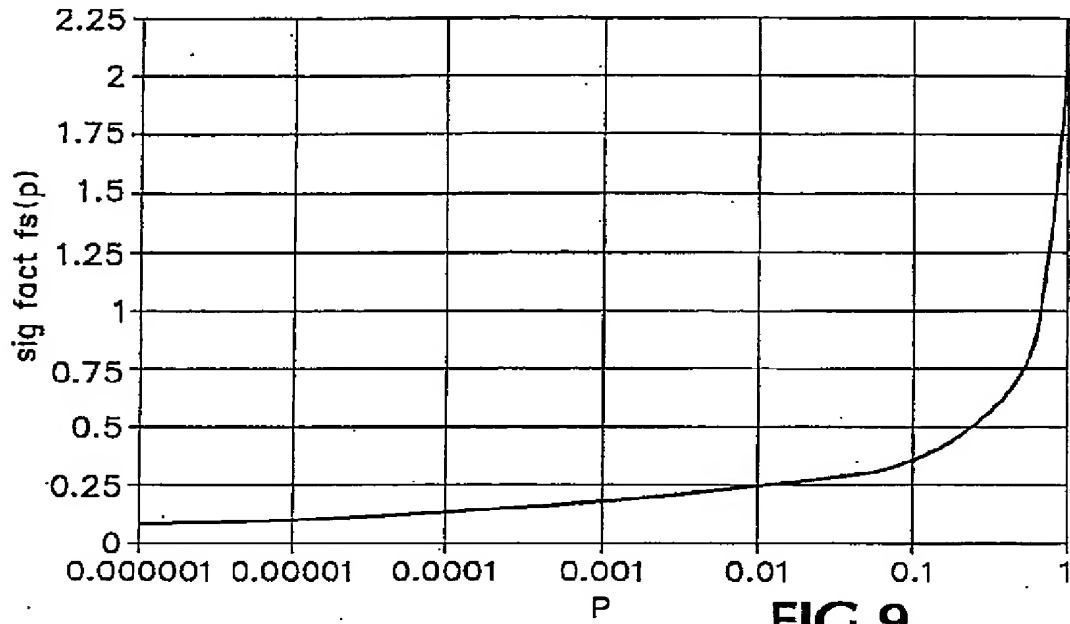
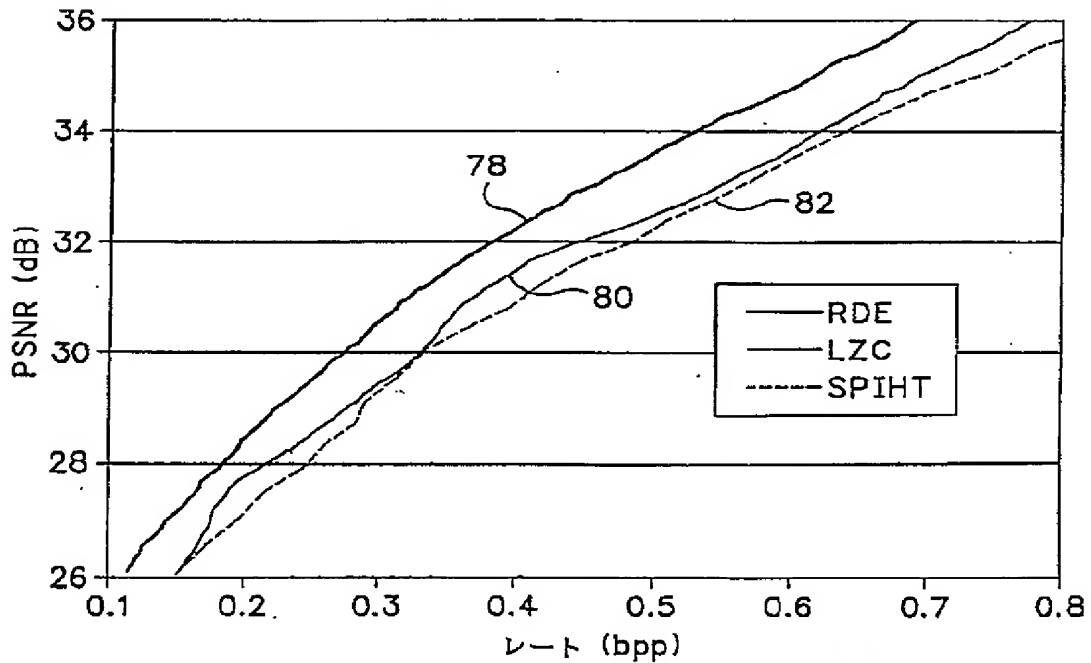


FIG.9

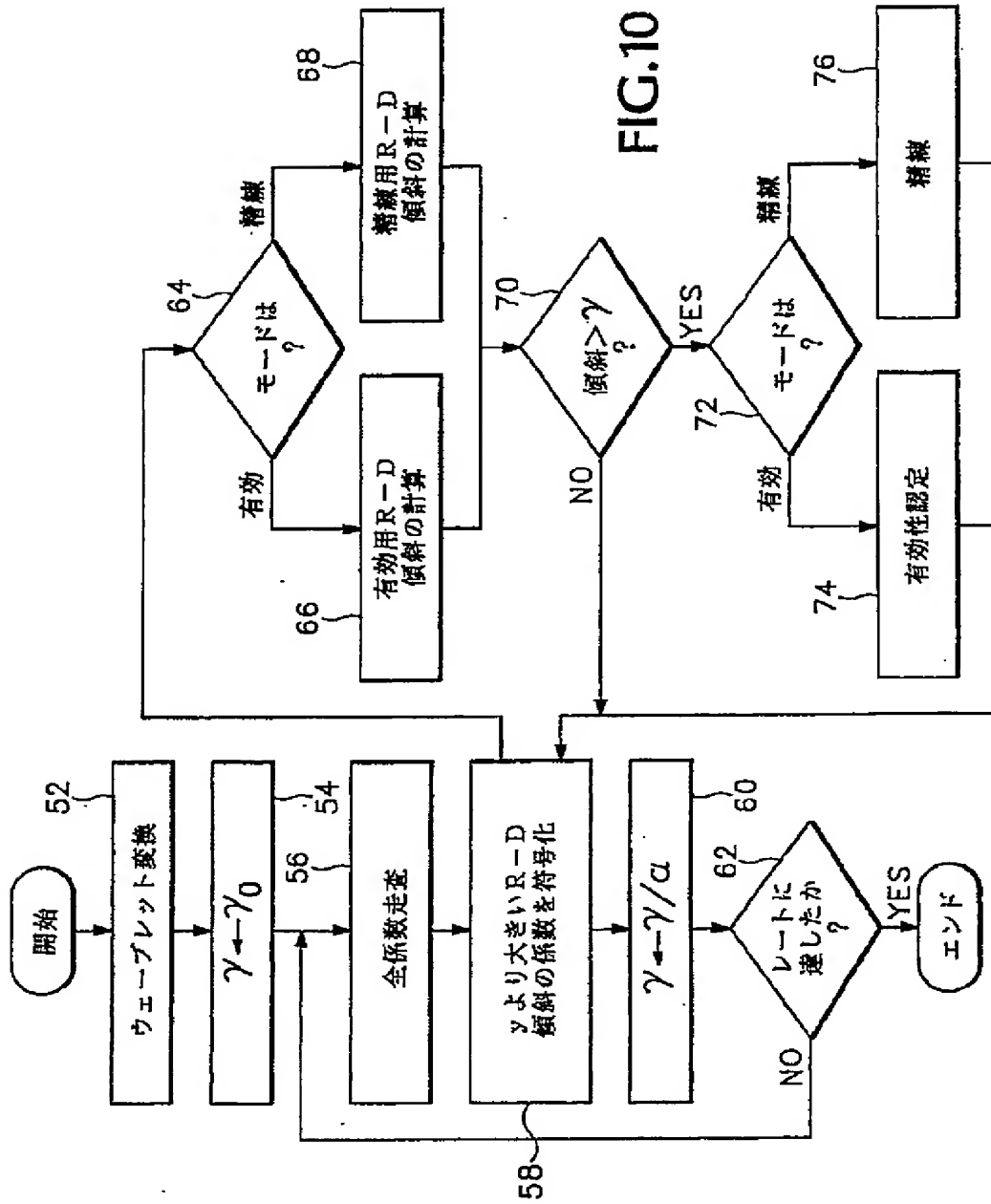
【図11】



RDE, LZC, SPIHTのレート-歪み曲線

FIG.11

【図10】



【図12】

順番	シンボル	値	順番	シンボル	値	順番	シンボル	値
1	$b_1 OF w_0$	0	10	$b_1 OF w_4$	0	19	$b_2 OF w_5$	0
2	$b_1 OF w_1$	1	11	$b_1 OF w_5$	0	20	$b_2 OF w_6$	0
3	SIGN OF $w_1$	-	12	$b_1 OF w_6$	0	21	$b_2 OF w_7$	0
4	$b_1 OF w_2$	0	13	$b_1 OF w_7$	0			
5	$b_1 OF w_3$	0	14	$b_2 OF w_1$	0			
6	$b_2 OF w_0$	1	15	$b_3 OF w_2$	1			
7	SIGN OF $w_0$	+	16	SIGN OF $w_2$	+			
8	$b_2 OF w_2$	0	17	$b_3 OF w_3$	0			
9	$b_2 OF w_3$	0	18	$b_2 OF w_4$	0			

TABLE 1  
FIG.12

【図13】

画像	レート (bpp)	LZC		SPIHT		RDE	
		PSNR(dB)		PSNR(dB)		GAIN VS LZC(dB)	GAIN VS SPIHT(dB)
LENA	1	40.1		40.4		40.3	-0.1
	0.5	37.1		37.2		37.2	0.0
	0.25	34.1		34.1		34.2	0.1
	0.125	31.1		31.1		31.3	0.2
BARBARA	1	37.5		37.6		38.1	0.5
	0.5	32.6		32.3		33.1	0.8
	0.25	28.6		28.2		29.1	0.9
	0.125	25.3		25.1		26.1	1.0
BOATS	1	41.2		41.1		41.6	0.5
	0.5	36.9		36.5		37.0	0.5
	0.25	33.1		32.5		33.2	0.7
	0.125	29.9		29.3		30.0	0.7
GOLD	1	37.5		37.6		37.7	0.1
	0.5	34.0		34.1		34.3	0.2
	0.25	31.4		31.3		31.6	0.3
	0.125	29.3		29.0		29.5	0.5

TABLE 2  
FIG.13

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US98/01981

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC(6) : G06K 9/36, 9/46 US CL : 382/239,240,247; 348/398,405,408,419 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 382/239,240,247; 348/398,405,408,419 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) IEEE		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Said, et al., A New, Fast, and Efficient Image Codec Based on Set Partitioning in Hierarchical Trees. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 6, No. 3, June 1996. Pages 243-250, especially pages 244-24.	1-3
Y		4-9, 12-16
Y	Ramchandran et al., Bit Allocation for Dependent Quantization with Applications to Multiresolution and MPEG Video Coders. IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 3, No. 5, September 1994. Pages 533-545, especially pages 533-534, 537-539, 541-544.	4-9, 12-16
Y	US 5,099,440 A (Pennebaker et al.) 24 March 1992 (24.03.92), paragraph bridging cols. 11-12, c. 4, lines 25-54, c. 15, lines 23-27.	9, 13, 16
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "X" earlier documents published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority status or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "A" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 12 AUGUST 1998		Date of mailing of the international search report 02 OCT 1998
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703) 305-3230		Authorized officer Amelia Au <i>Diane Smith for</i> Telephone No. (703) 308-6604

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US98/01981

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y, E	US 5,778,192 A (Schuster et al.) 07 July 1998 (07.07.98), column 10, third full paragraph and paragraph bridging columns 10-11.	13
Y	US 4,811,398 A (Copperi et al.) 07 March 1989 (07.03.89), column 7, lines 24-28 and column 21, lines 40-45.	12